

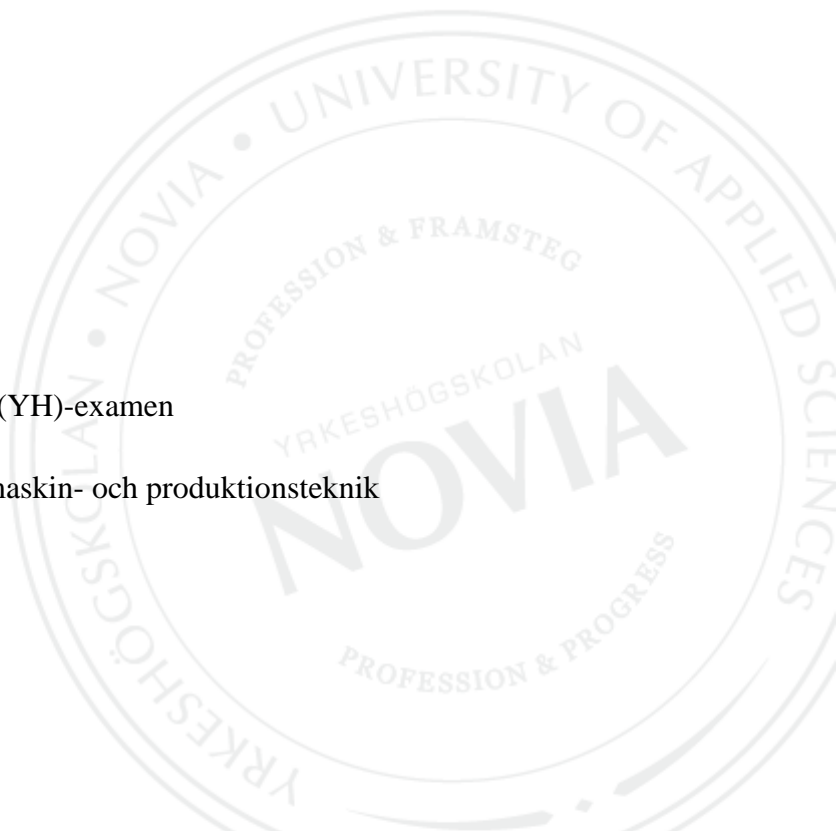
Optimering av startluftskam för W32 motorer

Sami Horttana

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2015



EXAMENSARBETE

Författare:	Sami Horttana
Utbildningsprogram och ort:	Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ/Fördjupning:	Drift- och energiteknik
Handledare:	Andreas Gammelgård & Christian Stegar

Titel: *Optimering av startluftkam för W32 motorer*

Datum: 2.4.2015

Sidantal: 45

Bilagor: -

Abstrakt

Detta examensarbete har utförts i samarbete med Wärtsiläs motorlaboratorium i Vasa. Examensarbetet behandlar optimeringen av en startluftskam för Wärtsilä W32 motorer.

Syftet med arbetet var att designa en ny kamprofil för förbättrad luftförbrukning samt rotationshastighet under start av medelvarviga dieselmotorer. Arbetet innebar 3D-modellering av olika startluftkammor med olika profiler samt testning av produkterna, för att undersöka profiländringens inverkan på startluftförbrukning samt motorns rotationshastighet under start.

Resultatet av detta arbete blev fem olika startluftkammor med olika profiler, och ett testresultat där startluftförbrukningen minskade märkbart och rotationshastigheten förblev oförändrad.

Språk: svenska

Nyckelord: startluftskam, optimering, test

BACHELOR'S THESIS

Author: Sami Horttana
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa
Specialization: Operation and energy technology
Supervisors: Andreas Gammelgård & Christian Stegar

Title: *Optimization of starting air cam for W32 engines*

Date: 2.4.2015

Number of pages:45

Appendices: -

Summary

This Bachelor's thesis has been carried out in collaboration with Wärtsilä's engine laboratory in Vaasa. This thesis is about optimization of a starting air cam for W32 engines.

The aim of this thesis was to design new profiled starting air cams for W32 engines, for improved starting air consumption and increased rotating speed of the engine during start. The thesis was to include 3D-models of the new starting air cams and a test result of the impact that the new profiles would have on the starting air consumption and rotating speed of the engine during start.

The result of this Bachelor's thesis was five new starting air cams, all with different profiles, and a test result showing considerable improvement in starting air consumption, with omittable impact on the rotating speed of the engine during start. The result of this thesis will be presented in detail in the end of this thesis.

Language: Swedish

Key words: Starting air cam, optimization, testing

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Sami Horttana
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot:	Käyttö- ja energiatekniikka
Ohjaajat:	Andreas Gammelgård & Christian Stegar

Nimike: Käynnistysilmanokan optimointi W32-moottoreille

Päivämäärä: 2.4.2105

Sivumäärä: 45

Liitteet: -

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Wärtsilän moottorilaboratorion kanssa Vaasassa. Tehtävänä oli suunnitella uusi käynnistysilmanokka W32-moottoreille.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella uudet käynnistysilmanokat uusilla profiileilla W32-moottoreille. Opinnäytetyön oli sisällettävä 3D-mallinnukset uusista käynnistysilmanokista sekä testitulokset uusien profiilien vaikutuksesta käynnistysilman kulutukseen ja moottorin pyörimisnopeuteen moottorin käynnistysvaiheessa.

Tuloksena oli viisi käynnistysilmanokkaa erilaisilla profiileilla, sekä testitulokset profiilin vaikutuksesta käynnistysilman kulutukseen huomattavalla parannuksella ja moottorin pyörimisnopeuteen käynnistysvaiheessa joka pysyi ennallaan.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: Käynnistysilmanokka, optimointi, testaus

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	3
1.3 Avgränsning	3
1.4 Företagsbeskrivning.....	4
1.4.1 Företagshistoria.....	5
1.4.2 Ship Power	5
1.4.3 Power Plant	5
1.4.4 Services	6
1.5 Disposition	6
1.6 Terminologi	7
2 . Teori.....	8
2.1 Tryckluft	8
2.1.1 Kolvkompressor.....	10
2.1.2 W32 startluftsystem	14
2.4 Mätteknik.....	17
2.4.1 Givare.....	17
2.4.2 Induktiva givare	18
2.4.3 Tryckgivare	22
3. Metod	23
3.1 Kamprofilen	23
3.2 Bas för startluftskam.....	29
3.3 Mätning	31
3.3.1 Mätningar på 6L32.....	31
4. Resultat	35
4.1 Testresultat från motor 6L32.....	35
4.2 Testresultat från motor 9L32.....	35
5. Diskussion	40
5.1 Startluft kammens utveckling.....	41
5.2 Tillbaka blick över arbetet.....	42
5.3 Vidare utveckling	42

1. Inledning

Jag har utfört mitt examensarbete vid Wärtsiläs motorlaboratorium vid Metviken, Vasa. Wärtsiläs motorlaboratorium är en bekant arbetsplats sedan tidigare, eftersom jag har arbetat som sommarpraktikant vid Wärtsiläs motorlaboratorium på Vasklot. Det har varit intressant att få möjligheten att göra mitt examensarbete på en ny arbetsplats med nya människor, men ändå inom en bekant miljö.

Min uppgift var att optimera startluftskammen för en W32 motor, tillsammans med min handledare samt experter inom företaget. Innan jag började med mitt examensarbete, hade det redan bestämts vilken form som kammen skulle ta. Det maximala lyftet skulle förbli oförändrat och att kamprofilen skulle vara symmetrisk, så att kammen kan monteras på både medurs och motursroterande motorer. Det som var oklart och skulle utredas var specifika mått, vinklar, samt helhetsdesign av själva kammen för att lätt utföra tester med olika profiler.

Detta examensarbete behandlar planering samt testning av en prototyp startluftkam för W32 motorn. Arbetet innefattar en teoridel där grundläggande fakta om mätteknik och tryckluftsystem kommer att gås igenom. I arbetet kommer även startluft-systemet i sin helhet att förklaras. Arbetet avslutas med en resultatdel där resultat av motortesterna presenteras och en diskussionsdel där arbetet gås igenom i sin helhet.

1.1 Bakgrund

Idén för detta examensarbete uppkom för ett antal år tillbaka av en arbetare på motorlaboratoriet, som föreslog en ny form på startluftkammens profil. Genom att ändra på profilen skulle vi få minskat på startluft-ventilens öppentid, vilket skulle leda till besparingar i tryckluftkonsumtionen under start. Ett till mål med detta examensarbete är att höja på det maximala startvarvtalet vi kan åstadkomma innan antändning i cylindern påbörjas.

Genom att minska mängden startluft som krävs för en pålitlig start av en medelvarvig dieselmotor, kan startluft behållarnas volym minskas, vilket leder till att man sparar värdefullt utrymme på fartyg. Gensets som används inom Power Plant har större nytta av att få gensetten igång och belastade så fort som möjligt för att ha möjligheten att producera el då efterfrågan är som störst, och priset mångfaldigt. Minimering av startluftkonsumtion bidrar även till årliga energibesparingar av mindre driftstimmar på kompressorinstallering.

Wärtsiläs medelvarviga dieselmotorer har hittills haft två olika typer av lösningar för start av motorn med hjälp av trycksatt luft. För mindre motorer som Wärtsiläs 20 motorer med en cylinder diameter på 20 cm, används pneumatiska startmotorer. Trycksatt startluft matas in i en turbin som börjar rotera och ett kugghjul slås ut mot kuggarna på svänghjulet, vilket börjar rotera motorn, väldigt likt de elektriska startmotorerna på bilar. Eftersom mitt examensarbete endast befattar W32 motorklassen kommer jag inte att gå in djupare på de mindre motorgruppernas startluftsystem.

Större dieselmotorers startluftsystem grundar sig på att mata in trycksatt luft direkt in i cylindern, för att trycka ner kolven och få motorn att rotera. Detta system styrs av flera komponenter men mitt examensarbete kommer att innefatta planering och undersökning av nya kamprofiler samt deras inverkan på en W9L32 motor. Dimensioneringen av kammen utgår från förutbestämda mått och endast profilen av kammen samt infästningskonstruktionen ändras, för att säkerställa att de nya komponenterna passar.

Detta betyder att mått som längd, diameter och infästning av kammen inte kommer att ändra utan utgå från standardkomponenter.

Varför startluftförbrukningen är viktig beror på att kunderna kräver en viss mängd starter ur startlufttankarna, ifall kompressorerna skulle gå sönder. Wärstilä har även utnämnt hur många starter de olika motortyperna skall klara av beroende cylinderkonfiguration samt motorns storlek, W32, W46 etc.

Med en mindre startluftförbrukning skulle det vara möjligt att få flera starter ur systemet, eller minska på startluftsbehållarna, vilket inom marinindustrin är av betydelse då utrymmen på fartygen är begränsade.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att designa samt undersöka inverkan av en startluftkam med ny profil. Målet är att minska på luftkonsumtionen samt öka på startvarvtalet.

1.3 Avgränsning

Detta arbete kommer befatta designen av en startluftkam med ny profil, samt en empirisk undersökning av den nya kammens inverkan på startluftförbrukning och motorns rotationshastighet.

1.4 Företagsbeskrivning

Wärtsilä är ett globalt aktiebolag, med verksamhet i ca 70 länder. I slutet av 2013 hade Wärtsilä totalt ca 18700 anställda och gjorde ett resultat på 1,98 € per aktie. Wärtsilä är ett globalt ledande företag, och erbjuder fullständiga livscykellosningar för energi- samt den marina marknaden. Vart tredje fartyg är försett med Wärtsiläs motorer.

(Företagets ekonomi, 2013)

Wärtsiläkoncernen är uppdelad i tre grenar, Ship Power, Power Plant och Services. Som namnen anger, ansvarar varsin gren om sitt eget marknadsområde och har även sina egna förgreningar. (Company overview, 2014)

Laboratoriets verksamhet är att konstant försöka hitta nya lösningar som förbättrar motorernas prestation och förbättrar kundens verksamhet. Dessutom undersöks nya lösningar som kan leda till lägre produktionskostnader. Labbet utövar även tester på kundens begäran för att kunna bevisa motorers prestationsförmåga.

(Company overview, 2014)

1.4.1 Företagshistoria

Wärtsilä grundades som ett sågverk i Tohmajärvi år 1834. Sågverket byggdes om till ett järnverk år 1851. År 1938 började Wärtsiläs färd inom dieselmotorindustrin genom att företaget skrev under ett licenseringskontrakt med Friedrich Krupp Germania Werft AG. Det var inte förrän 1960 som Wärtsilä presenterade den första motorn som var av företagets egen konstruktion, Wärtsilä Vasa 14T, var 14 stod för slagvolymen i liter per cylinder. Detta ändrades senare till Wärtsilä Vasa 24 för att motsvara de vanligare använda modellerna för att namnge marina motorer, var siffrorna beskriver cylinderdiametern i centimeter. (Företagets historia, 2014)

1.4.2 Ship Power

Ship Power ansvar för organisationens intressen inom den marina industrin och erbjuder allt från fullständig planering av fartyg till ballast vatten system. Vart tredje fartyg i världen är utrustad med Wärtsiläs motorer och detta betyder att företaget är starkt ute på marknaden, men det finns även många andra konkurrenter så som Caterpillar och MAN. SP drar in ca 31 % av de totala intäkterna inom organisationen.

(Company overview, 2014)

1.4.3 Power Plant

PP ansvarar för kraftverksmarknaden och erbjuder kunderna olika lösningar för kraftverksmotorer. Medelvarviga diesel- och gasmotorer används inom kraftverksbranschen för att snabbt kunna få ut elektricitet när behovet växer, alltså jämna ut pikarna samt stabilisera nätverk ifall elen produceras mha. vindkraftverk vars ut-effekt är beroende på klimatet och inte kan höjas vid behov. PP står för ca 29 % av intäkterna i organisationen. (Company overview, 2014)

1.4.4 Services

Services ansvarar för motorernas funktion under motorns garantitid eller över hela livstiden ifall kunden begärt ett underhållskontrakt. Service utför planerade underhållsåtgärder för att undvika oförväntade haverier, samt rycker ut för att åtgärda oväntade problem ute på fältet. (Company overview, 2014)

1.5 Disposition

Här redogörs kort vad de olika delarna i arbetet innehåller.

Kapitel 1 innehåller en kort presentation om arbetets bakgrund och syfte, samt en kort presentation om företaget.

Kapitel 2 ger en teoretisk inblick om komprimerad luft, startluftsystem samt mätteknik.

Kapitel 3 beskriver hur arbetet utförts samt på vilka sätt resultaten har insamlats.

Kapitel 4 innehåller en presentation om resultaten för startluftkammens inverkan på olika områden så som, luftförbrukning samt rotationshastighet.

Kapitel 5 är en diskussion om arbetets gång, hur resultaten reflekterar det vi förväntade oss, vad som kunde ha gjorts annorlunda samt fortsatt utveckling inom ämnet.

1.6 Terminologi

Här beskrivs olika förkortningar som använts i arbetet.

- SP - Ship Power
- PP - Power Plant
- Service - Underhåll
- TDC - Övre dödläge
- BDC - Nedre dödläge
- DAQ - Data Acquisition
- RTD - Resistance temperature detectors
- NO - Normally open
- NC - Normally closed
- LVDT - Linear variable differential transformer
- CA - Crank angle

2. Teori

I detta kapitel kommer jag gå igenom olika teorier som använts under detta examensarbete angående tryckluft, konstruktionsteknik, samt mätteknik.

2.1 Tryckluft

Luft kan i motsats till vätskor komprimeras. Med detta menas att en given volym av luft kan minskas till en mindre volym, med ökat tryck som följd. Denna händelse följer Boyles lag, som säger att $p \cdot V = C$, vilket betyder att trycket gånger volymen alltid blir konstant, från denna formel härstammar även uttrycket $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$, som beskriver förändringen från ett ursprungstillstånd till ett nytt tillstånd, på avsikt att varken gas mängden eller temperaturen ökar. (Tryckluftsguiden s. 5; Boyles law calculator u.å)

Med tryckluft avses vanlig atmosfärsluft som har blivit komprimerad med hjälp av någon typ av kompressor. Atmosfärsluften innehåller för det mesta kväve (78 %) och syre (21 %), men även en del andra gaser som t.ex. argon och vatten ånga. Beroende på var i världen och vilket klimat som råder (vinter, vår, sommar, höst) kommer den relativa luftfuktigheten att variera, vilket leder till att vatten kondenseras i tryckluftssystemet och måste dräneras.

Tryckluft som energibärare har väldigt goda egenskaper sett från många olika synpunkter. Luften är ren och ofarlig för sin omgivning, väldigt lätt att förvara samt transportera och väldigt mångsidig, eftersom tryckluft passar till de flesta ändamål inom industrin. Tryckluften kan användas för pneumatiska verktyg, pneumatiska styrorgan, rengöring och kylning. (Tryckluft som energiform u.å.)

En kompressor är oftast driven av elektricitet men kan också vara driven med en förbränningsmotor. Industrin i Europa använder ca 3 % av den totala producerade energin, till att producera tryckluft. Elförbrukningen står för ca 70 % av de totala kostnaderna för ett tryckluftssystem, resterande 30 % består huvudsakligen av investerings- och underhållskostnader. Detta är över en tioårsperiod för tryckluftsproduktion.

När det är frågan om tryckluftsproduktion och tryckluftssystem försvinner en stor del av den tillförda energin i form av läckage och värme. En effektiv samt välplanerad underhållsplan är av stor betydelse inom tryckluftsproduktion eftersom det inte är ovanligt med läckageförluster på 20 – 50 % under normal drift.

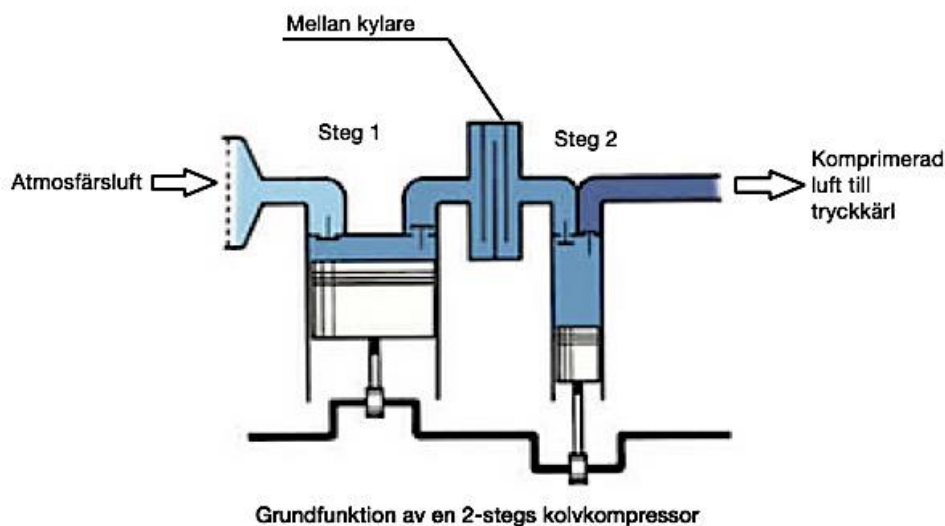
Även om tryckluft är en väldigt bra och mångsidig energiform, är det även en av de dyraste. På grund av att tryckluftsproduktion är väldigt dyrt blir kunskapen om vart förbrukningen äger rum samt hur man kan optimera systemen för att minska på förbrukningen väldigt viktig. Utan tryckluft stannar produktionen, vilket betyder att övervakningen av tryckluftsförbrukningen och kompressorernas kapacitet kan vara avgörande för att uppehålla driftssäkerheten.

Tryckluft kan tillverkas på flera olika sätt, men det krävs alltid någon typ av kompressor. Den vanligaste kompressorn inom industrin är av modellen kolvkompressor, men det finns även andra modeller såsom turbin och skruvkompressorer. Det är användningsändamålet som slutligen bestämmer vilken typ av kompressor passar bäst. Industrin föredrar kolvkompressorer pga. deras goda förmåga att tillverka höga tryck, kolvkompressorer är antingen en eller 2-stegskompressorer och det är speciellt 2-stegskompressorer som används inom industrin. Kolvkompressorerna fungerar på så vis att när en kolv åker ner sugs luft in och när kolven trycks upp komprimeras luften och åker vidare till en trycklufts behållare eller till följande cylinder som komprimerar luften ytterligare.

(Tryckluft som energiform u.å.)

2.1.1 Kolvkompressor

I detta kapitel kommer vi gå igenom grund teorier om kolvkompressorernas funktion samt karaktär.

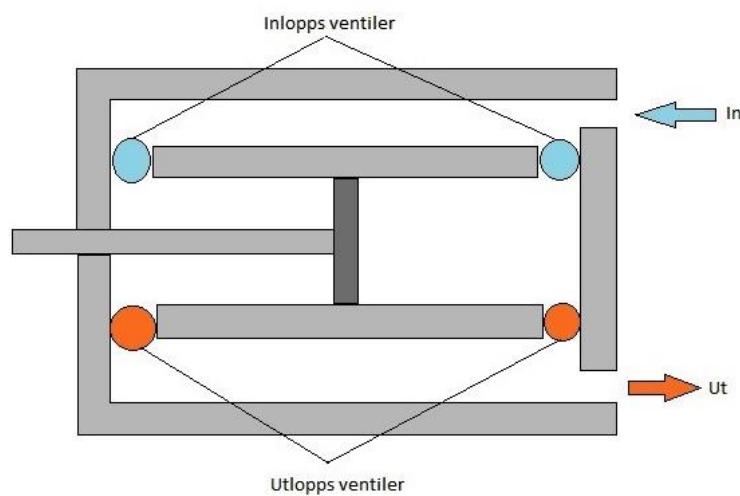


Figur 1. 2-stegs kompressor

Varje kompressor är uppbyggd av en eller flera grundelement. Ett ensamt element eller flera element ihopkopplade parallellt, bildar en kompressor. Flera kompressionsproblem innehåller problem som en 1-stegskompressor inte klarar av pga. praktiska skäl. Ett för högt kompressionsförhållande leder till att det absoluta sluttrycket dividerat på det absoluta insugstrycket, ger upphov till alltför höga temperaturer samt andra designproblem. På grund av detta kan det vara nödvändigt att kombinera flera element i serie för att åstadkomma en flerstegs anläggning, som består av två eller flera steg av kompression. Gaserna blir nerkylda mellan varje steg för att minska på gasens temperatur, vilket i sig leder till en volym minskning av gasen som inträder till följande kompressionsskede.

Man bör komma ihåg att varje komprimeringssteg är en individuell kompressor i sig själv, som är måttsett att verka i serie med en eller flera andra kompressorer. Även om alla kompressorer opererar från samma strömkälla är det ändå enskilda kompressorer. En vanlig kolvkompressor är av typen enkelverkande, och komprimerar alltså luften endast på ena sidan om kolven. En kompressor som komprimerar luft på båda sidorna om kolven är av typen dubbelverkande. (Bloch, 1996, s. 5)

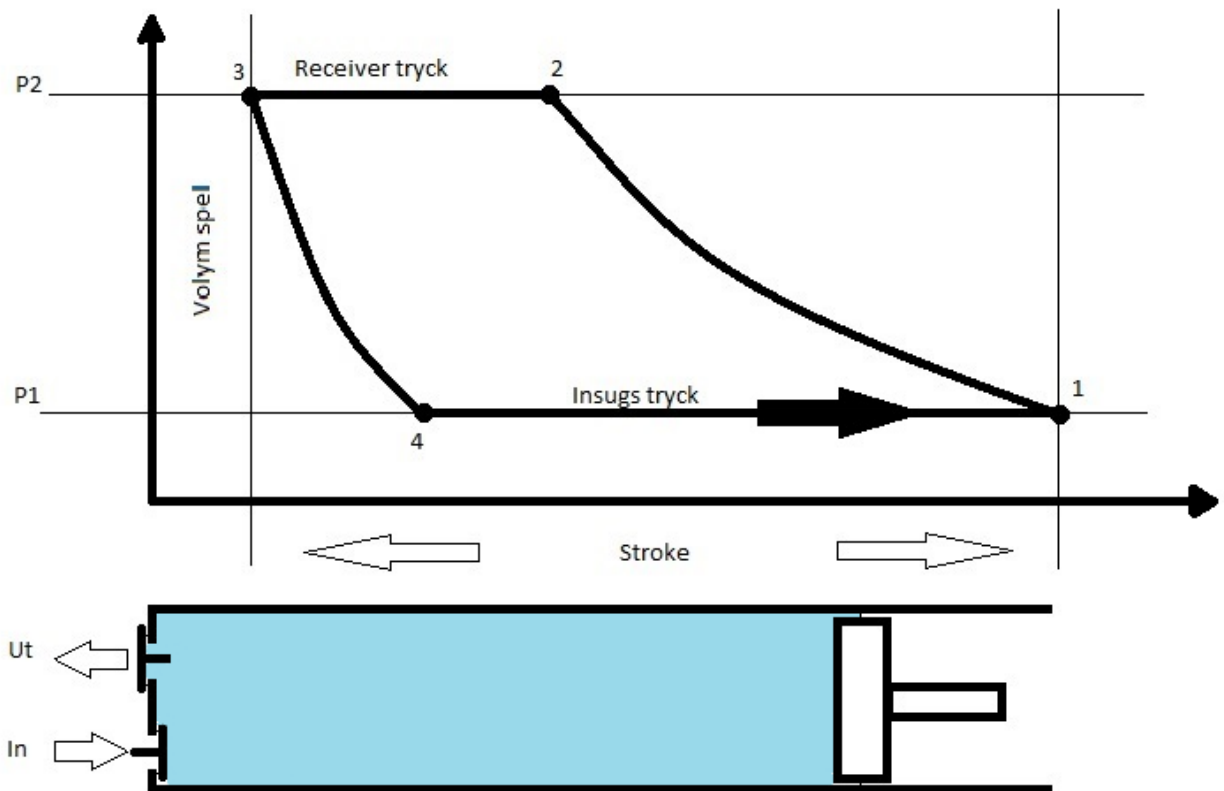
Kolvkompressorn består av automatiska fjäderbelastade ventiler, som öppnas endast då tillräckligt stort differentialtryck råder över ventilen. Insugsventilen öppnar när trycket i cylindern är litet lägre än trycket som råder i insugskanalen. Utloppsventilen öppnar när trycket i cylindern överskrider trycket som råder i utlopps kanalen, dvs. trycket i följande kompressor ifall det är frågan om en flerstegskompressor, annars gäller det trycket som råder i tryckluftskärlet. (Bloch, 1996, s. 5)



Figur 2. Dubbelverkande kompressor

Det är viktigt att uppmärksamma att en dubbelverkande kompressor inte är en 2-stegskompressor. En dubbelverkande kompressor är en vanlig 1-stegs kolvkompressor som utför nästan det dubbla arbetet per cykel jämfört mot en vanlig enkelverkande kompressor.

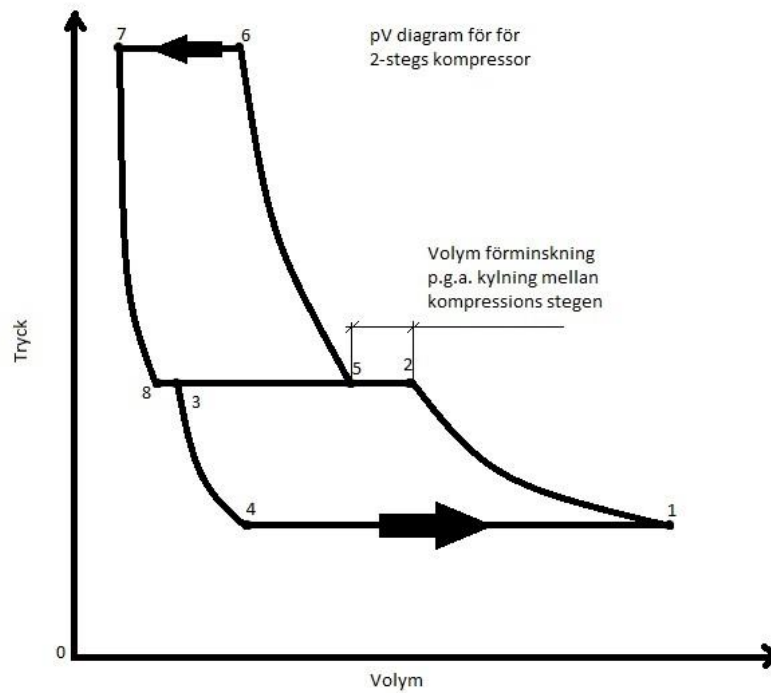
(Bloch, 1996, s. 5)



Figur 3. pV-diagram över 1-stegs kompression

- Steg 1-2: Gasen, låt oss säga luft i atmosfärstryck, komprimeras i kompressorn ända upp till P_2 , där kompressionstrycket nått det tryck som råder i tryckkärlet.
- Steg 2-3: Trycket i cylindern överskrider trycket i tryckkärlet direkt efter punkt 2 och utlopps ventilen öppnar, luften börjar strömma ut ur cylindern.
- Steg 3-4 : Vid punkt tre har kolven nått sitt övre vändläge och ändrar riktning, alla ventiler är stängda. Den mängd komprimerad luft som ligger kvar i volymspelet börjar utvidgas vilket ger upphov till tryckminskning.
- Steg 4-1: Kolven fortsätter sin färd mot nedre vändläget. Trycket i cylinder har nu minskats till den punkt att trycket i cylinder är lägre än trycket som råder i inloppskanalen, insugsventilen öppnas och ny okomprimerad luft strömmar in i cylindern.

(Bloch, 1996, s. 8)



Figur 4. pV-diagram över 2-stegskomprimering

2-stegskompressorer är dimensionerade enligt totala kompressionsförhållandet, vart det andra steget är mindre eftersom gasen redan blivit komprimerat samt nerkyllt, och därför kräver en mindre volym. I pV-diagrammet (figur 3) ser vi hur trycket i varsin cylinder förhåller sig till volymen i cylindrarna. Gapet mellan steg 2 och 5, beror på volymförminskningen som uppstår vid nerkyllning av gaserna mellan kompressionsstegen. Alla typer av flerstegskompression med kolvkompressorer följer detta mönster samt termodynamikens lagar.

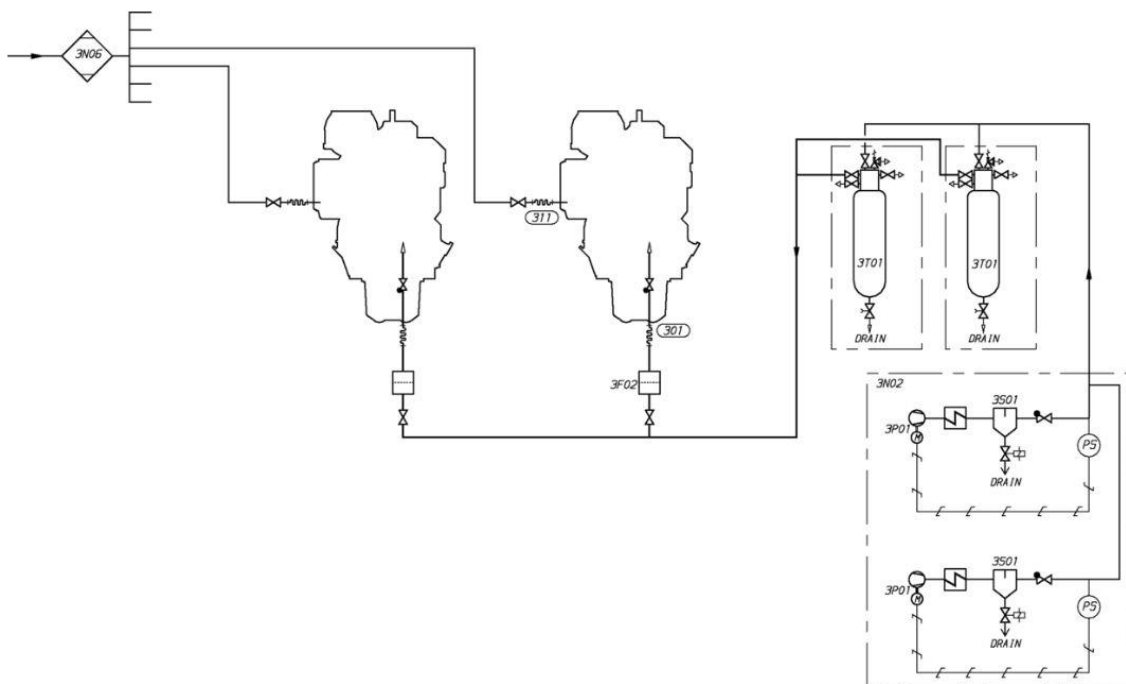
(Bloch, 1996, s. 8–9)

2.1.2 W32 startluftsystem

Startluftsystemet för en medelvarvig dieselmotor i 32 storleksklassen är uppbyggt av flera komponenter och bildar en pålitlig helhet. För att förenkla systemets hantering, har startluftsystemet indelats i två olika kategorier, externt och internt luftsystem.

2.1.2.1 Externa startluftsystemet

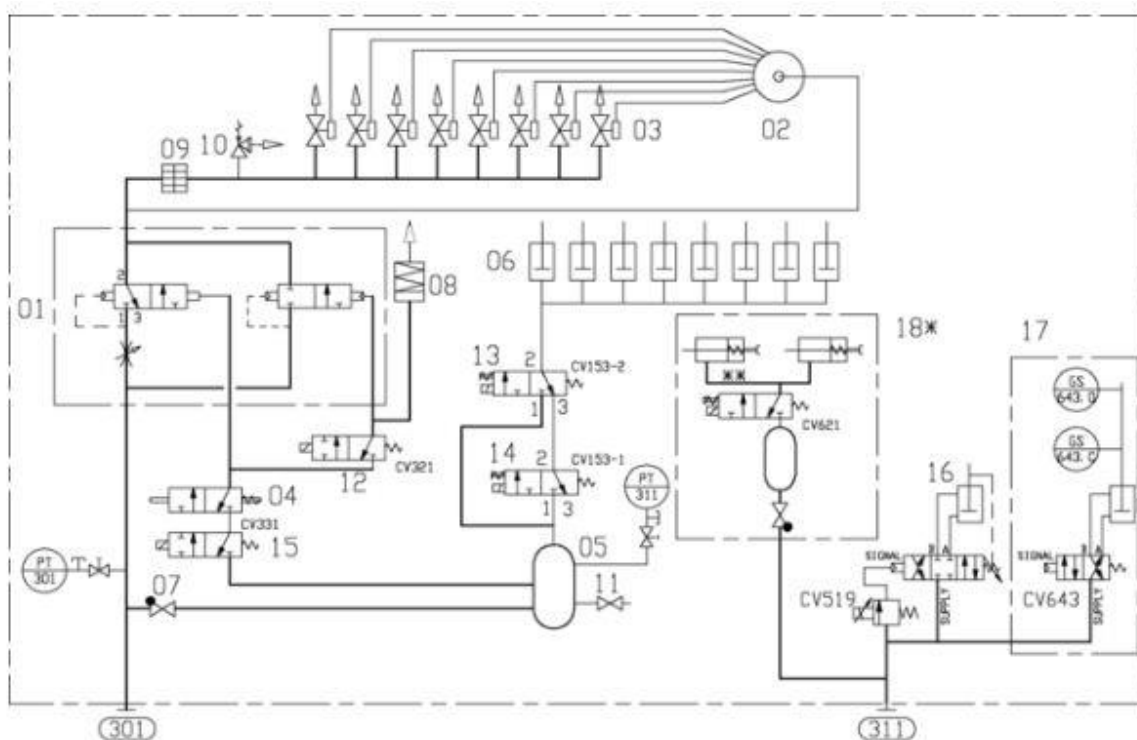
Det externa luftssystemet innehåller alla komponenter från kompressorerna till motorn, vilket innebär två kompressorer, två startlufttankar, filter och rörledningar.



Figur 5. Det externa startluftsystemets uppbyggnad.

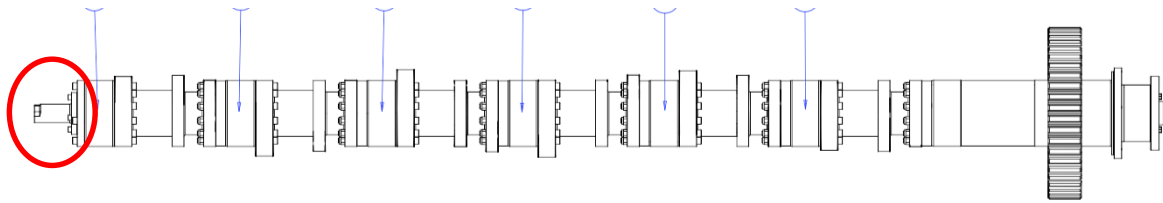
2.1.2.2 Interna startluftsystemet

Det interna systemet innehåller resten av startluftsystemet, dvs. allting som ligger på motorn själv. Systemet är uppbyggt av flera olika ventiler såsom 3/2- och 5/2-ventiler som är elektromagnetiskt, pneumatiskt eller mekaniskt styrda. Dessa ventiler styr luftflödet och påverkar bland annat olika aktuatorer.



Figur 6. Det interna startluftsystemets uppbyggnad.

Motorns startsystem är väldigt likt på alla W32 motorer. Små differenser i systemet uppstår av cylinderkonfigurationen samt tändföljden på motorn. Systemet fungerar på så vis att det finns en startluftskam på ändan av kamaxeln, som roterar inom en startluftsdistributör. När kammen roterar kommer kontrolluft portar att öppna samt stänga i tur och ordning, vilket i sin tur styr öppning samt stängning av startluftsventilen som ligger i cylinderlocket. Startluftventilen i sin tur släpper in trycksatt luft, vilket får motorn att rotera. När kontrolluftporten stänger och avluftningskanalen öppnar, minskar kontrollufttrycket för startluftventilen och ventilen stänger. Vid detta skede har följande startluftventil redan öppnat, och börjat mata in tryckluft i följande cylinder. Den trycksatta luften matas in under arbetstakten.



Figur 7. Bild över kamaxelhelhet, startluftkammen sitter längst ute till vänster.

Kamaxeln roterar hälften saktare än vevaxeln, vilket betyder att, en grads vinkelökning på kamaxeln motsvarar två grader på vevaxeln. På en V-motor är det oftast endast en kontrolluftsdistributör, precis som på en rad motor, men det finns undantag. På vissa V-motorer har man valt att ha två kontrolluftsdistributörer, en för vardera cylinderbank.

2.1.2.3 Slow turning

Motorer med större cylinder diameter än 320 mm använder sig av en funktion kallat för slow turning, innan motorn startar. Med slow turning roterar motorn sakta några varv, detta utförs för att tryggt granska ifall vatten läckt in i cylindrarna. Vatten i cylindern skulle vara väldigt skadligt för motorn, eftersom vätska inte går att komprimera skulle kolvens rörelse stanna hastigt samt trycket i cylindern öka kraftigt tillagt att det är frågan om tunga roterande massor kunde skadorna på topplocket, kolven eller vevaxeln vara dyra att reparera. Rotationshastigheten är väldigt liten vid slow turning, vilket inte leder till några skador av motorkomponenterna ifall det fanns vatten i cylindern. Ifall slow turning misslyckas t.ex. av att det finns vatten i cylindern, stannar motorn, en startspärr aktiveras och ett alarm aktiveras, indikerande motorfel. Efter en lyckad slow turning startar motorn normalt.

Orsaker för vatten i cylindern kan vara:

- Slarvigt underhållsarbete
- Skadat cylinderfoder
- Skador på topplockspackning

2.4 Mätteknik

I detta kapitel kommer grundläggande teorier om olika mätinstrument som kommer användas i detta slutarbete genomgåas.

2.4.1 Givare

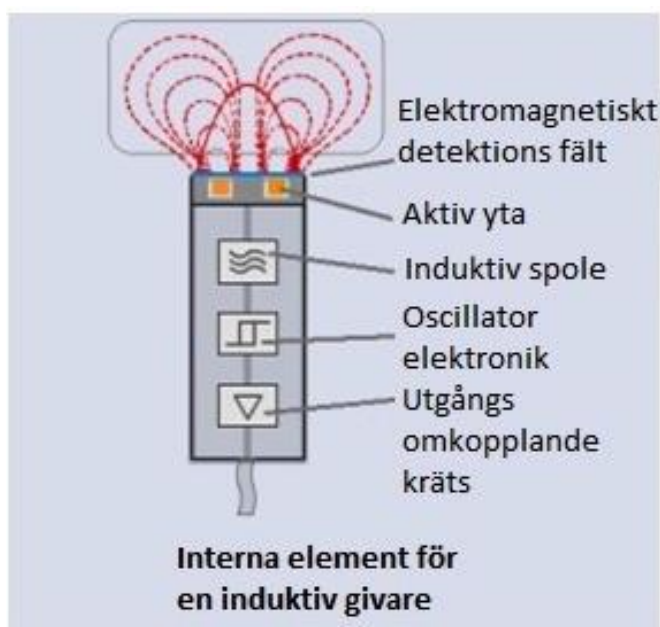
Med en givare anses ett mätredskap som kan mäta t.ex. tryck eller temperaturer, samt kan kopplas in i ett DAQ-system (Data acquisition). Detta betyder att givaren konverterar ett fysiskt fenomen som temperatur till en mätbar elektrisk signal, som kan vara spänning, strömstyrka eller resistans. Detta beror stort på vilken typ av givare det är frågan om, ifall den mätbara enheten kommer vara volt, amper eller ohm. Vid uppmätning av olika fysiska händelser med hjälp av givare, behöver vi även ett DAQ-system samt ett signalkonditioneringssystem. Vissa givare kan behöva ett signalkonditioneringssystem som filtrerar, förstärker och eventuellt kompenserar signalen från givaren och skickar signalen vidare till vårt DAQ-system för att få en god och pålitlig signal från mätutrustningen. Ifall signalkonditionering inte skulle användas riskerar vi orsaka skada till DAQ-systemet och då kommer vårt data att vara instabilt eller oanvändbart.

Vanliga typer av givare är:

Termopar, RTD, Termistor	-	Temperatur
Photo sensor	-	Ljus
Microfon	-	Ljud
Strain gage, Piezoelektrisk Omvandlare	-	Kraft/tryck
Potentiometer, LVDT, Optisk encoder	-	Position och förskjutning
Accelerometer	-	Acceleration

2.4.2 Induktiva givare

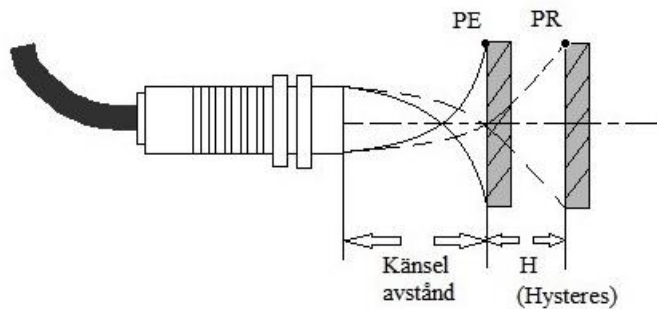
En induktiv sensor är en elektronisk oscillator innehållande en induktiv spole med väldigt fin koppar tråd, en kondensator för att lagra elektrisk laddning, samt en energikälla för försörjning av elektricitet. Storleken av den induktiva spolen samt och kondensatorn är ihop passade för att åstadkomma en självförsörjande sinus våg oscillering med bestämd frekvens. Spolen och kondensatorn fungerar som två elektriska fjädrar med en vikt emellan sig, konstant tryckande elektroner fram och tillbaka mellan varandra. Elektrisk energi matas in i kretsen för att påbörja samt uppehålla oscilleringen.



Figur 8. Interna element för en induktiv givare.

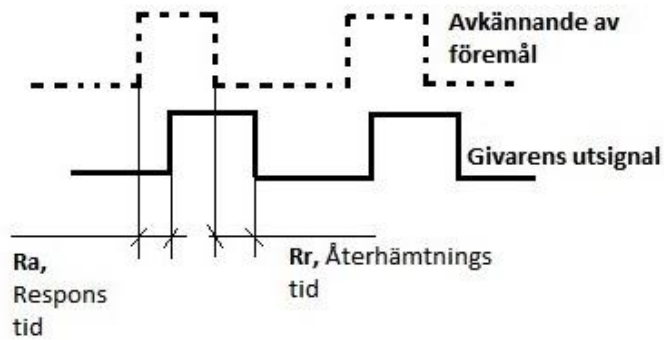
Oscilleringen orsakar ett elektromagnetiskt fält framför givarens aktiva yta, eftersom spolen är belägen direkt under den aktiva ytan. När ett metalliskt föremål kommer innanför detta magnetfält, kommer en liten del av energin från oscilleringen att överföras till det metalliska objektet. Denna överförda energin framstår som små cirkulerande elektriska spänningar, också kallade virvelströmmar (eddy currents). Virvelströmmarna utsätts för elektrisk resistans när de försöker cirkulera. Detta medför en liten effekt förlust i form av värme. Effekt förlusterna blir inte totalt ersatta av givarens interna energikälla, så amplituden för oscilleringen minskar. Till slut minskar oscilleringen så lågt att en separat krets kallad för Schmitt Trigger, känner av att oscilleringens nivå sjunkit under en förutbestämd nivå.

Denna nivå är den nivån var det säkerställs att ett metallobjekt kommit innanför känselområdet. Vid avkänning av ett metall föremål, kopplas utgången på, och givaren skickar antingen ut en signal i volt eller bryter kretsen, beroende på ifall givaren är av typen NC (normally closed) eller NO (normally open). (Grund principer för induktiva sensorer)



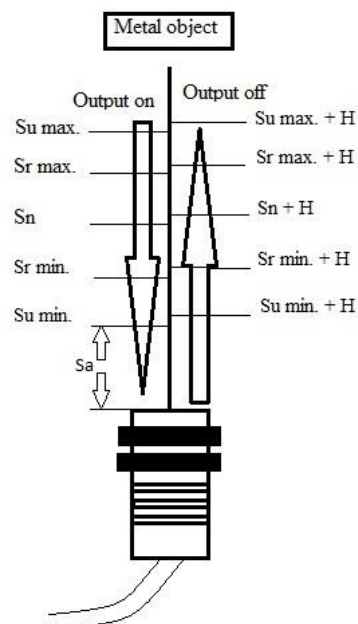
Figur 9. Hysteresen för en induktiv givare.

Flera olika typer av sensorer använder sig av något som kallas för hysteres. Hysteresen är något som används inom mätteknik för att undvika situationer var en sensor inte vet om den skall ge en signal eller inte, och börjar aktivera och avaktivera ut signalen konstant. Detta fenomen som kallas för "chatter" kan förekomma ifall på-kopplings samt avkopplingsavståndet är lika, och ett föremål ligger på gränspunkten. Uppstår det då t.ex. vibrationer vid givaren eller det igen kända objektet kan givaren börja slå av och på. På grund av detta fenomen använder man sig av hysteres, som beskriver skillnaden mellan på- och avkopplings avstånd. I figuren ovan beskriver PE påkoppling av signal, sensorn känner igen ett föremål, och PR beskriver avkopplingsavstånd när sensorn inte längre "ser" föremålet. (Inductive sensors)



Figur 10. Givarens fördröjning.

Vid val av sensorer för mätningens ändamål, är även fördröjningen viktig. Eftersom induktiva sensorer lämpar sig bra för att bestämma rotationshastigheter, genom att räkna kuggarna på kugghjul, eller noggrannare sagt räknar man tiden mellan pulserna, för att bestämma rotations hastighet. Ifall responstiden och återhämtningstiden är för stor kommer inte mätvärdet att bli pålitligt, eftersom vi kommer hoppa över pulser.



Figur 11. Induktiva givarens känslområden.

- Nominellt känselavstånd (S_n):
 - Operativt avstånd som givaren blivit planerad för. Detta avstånd tar inte i beaktande variabler så som, tillverkningstoleranser, temperatur eller spänning.
- Verkligt känselavstånd (S_r):
 - Det verkliga känselavståndet mäts med den dimensionerade spänningen (U_n) samt temperaturen (T_n).
- Användbart känselavstånd (S_u):
 - Det användbara känselavstånden mäts vid gränserna för det tillåtna variationerna i temperatur (T_a) samt spänning (U_b). Detta måste vara mellan 90 % och 110 % av det verkliga känselavståndet: $0.9 S_r \leq S_u \leq 1.1 S_r$.
- Garanterat känselavstånd (S_a):
 - Detta är det operativa området för givaren. Det garanterade området är mellan 0 och 81 % av det nominella känselavståndet (S_n): $0 \leq S_a \leq 0.9 \times 0.9 \leq S_n$

(Inductive proximity sensors u.å.)

2.4.3 Tryckgivare

Tryckgivarna som jag använt i mitt examensarbete är av typen Kistler 4075A50V200S, där 4075A står för givar typen, 50 för tryckskalan (0 - 50 bar) och V200S anger att givaren är av intelligent typ. Med en intelligent givare anses en givare med TEDS, som betyder att givaren har ett inbyggt data chip, vart all givarspecifik data har matats in. Vid inkoppling av en TEDS-givare till förstärkare och DAQ-system, läser systemet automatiskt av givarens specifika data som kalibrerings värden, och på så vis undviks mänskliga fel samt mycket tid sparas.

Kistler 4075 givarna är av typen piezoresistiva absoluta tryckgivare, och mäter alltså det absoluta trycket. Absolut tryck är trycket mätt från vakuum. En piezoresistiv givare fungerar genom att mäta resistansen på små piezoresistiva resistanser, liknande strain gage. Dessa är kopplade i en wheatstone brygga. Detta leder till att när det tunna metall membranet påverkas av tryck kommer bryggan att hamna i obalans och ge ut en proportionell utsignal. De individuellt inställda resistorerna som är inbyggda i givaren kompenserar för termiska effekter.

Denna typ av tryckgivare är väldigt angenäma för statisk samt dynamisk tryckmätning, men eftersom de är absoluta tryckgivare kommer mätvärdet att påverkas av det barometrisk trycket som råder.

(Kistler sensors u.å.)

3. Metod

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssätt för design av kamprofilerna, kambasen samt mätningen av resultat. Modellering av komponenterna har utförts i Siemens NX 9.0.

3.1 Kamprofilen

I början av arbetet fastställdes under ett start-upp möte, hur de nya kamprofilerna skulle utformas. Idén var att om designa kammen från en flat yta till en mera hjärtformad profil. Detta i sin tur leder till att startluftventilernas öppna tid kommer minska eftersom profilen höjs upp, medan slidens maximala rörelse bibehålls. Dessutom bestämdes det att profilerna skulle vara symmetriska, så att kamprofilen skulle passa på både medurs samt moturs roterande motorer. Ifall kamprofilen tillåter startluftventilen att vara öppen för länge kommer en stor del av tryckluften som matas in i cylindern att gå till spillo när avgasventilen öppnar, därför är det viktigt att hitta en gräns för minimal öppen tid för startluftventilen utan att minska på rotations hastigheten men ändå minska på förbrukningen av startluft, och inte låta den dyrbara energin som lagrats i tryckluften gå till spillo när avgasventilen öppnar.

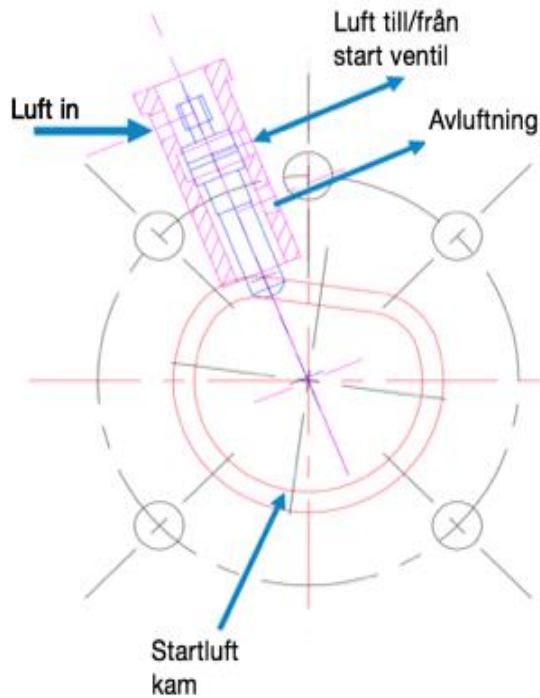
Begränsningar med kamprofilen är motorns cylinderkonfiguration, eller närmare sagt antalet slider på distributören. För att säkerställa att motorn börjar rotera vid start, måste vi eliminera möjligheten för att startluftskammen hamnar i ett så kallat dödläge. Dödläge syftar på att kammen ligger i en sådan position var massorna inte får tillräckligt med rörelse energi vid start att påbörja matningen av tryckluft till följande cylinder, vilket leder till att motorn slutar rotera. För att förhindra detta skall alltid två startluftventiler vara påverkade samtidigt av kammen. Vid undersökning av lutningen för profilen, blev det klart att en motor med sex cylindrar, vilket leder till sex slider i distributören, som kan påverkas per roterat var på kamaxeln, inte kan ha lika aggressiva lutningar på profilen som en motor med 9 eller 20 cylindrar. Detta beror på att distributions limpan som innehåller sliderna för kontroll luften, för en 20 cylindrisk motor, har 10 slider i limpan vilket betyder att varje slid

är belägen 36 grader ifrån varandra, medan en sexcylindrig motorn endast har sex slider med sliderna 60 grader ifrån varandra.

För att bestämma vilka typer av profiler som skall tillverkas räknade jag ut med hjälp av grundläggande geometriformler hur många grader öppnings tiden samt stängningstiden kommer att ändras per ökad grad lutning på kamprofilen. När detta var klart visste vi vad vi kunde förvänta oss för resultat med olika motortyper.

Redan under förundersökningarna blev det uppenbart att förbättringen med tanke på luftförbrukning skulle bli marginellt på en motor med sex cylindrar, men vi bestämde oss ändå för att tillverka komponenter för alla cylinderkonfigurationer, för att säkerställa testmöjlighet på en motor.

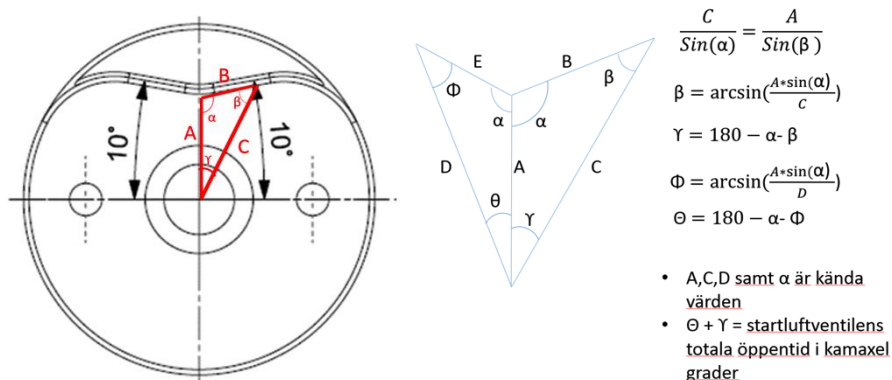
Totalt tillverkades sex stycken olika kamprofiler, vart av fem var nya profiler och en av standard modell, de nya startluftskammarna hade en profil lutning på 2, 4, 6, 8 och 10 grader. Eftersom det redan existerade en ny design av en isärtagbar startluftskam, användes denna ritning som modell för att säkerställa att de nya kamprofilerna möjligtvis kunde monteras direkt på denna typ av kambas, med tanke på möjliga tester samt framtida utbytes möjligheter ifall någon av de nya profilerna skulle utvecklas från prototyp till verklig produkt.



Figur 12. Standard startluftkam, slid samt holk.

I figuren ovan kan vi se funktionen av startluft kammen. Lufttrycket trycker sliden ner mot kammen och när kammen roterar, följer sliden kammens profil. När sliden rör sig nedåt kommer porten att öppnas och luften fortsätter vidare till startluftventilen i cylinderlocket.

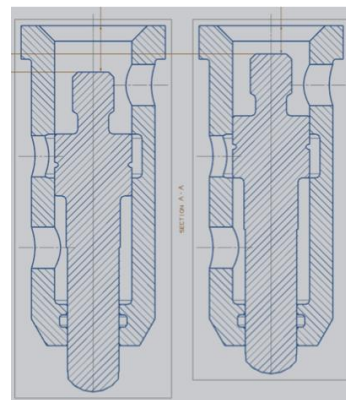
Det är viktigt att observera att denna luft endast fungerar som kontroll luft och därmed styr startluftventilen. När kammen sedan roterar vidare börjar sliden skjutas uppåt, när tillräcklig förflyttning uppnåtts kommer porten för startluftsventilen vara öppen samtidigt som avluftningsporten och trycket minskar, vilket leder till att startluftventilen stängs.



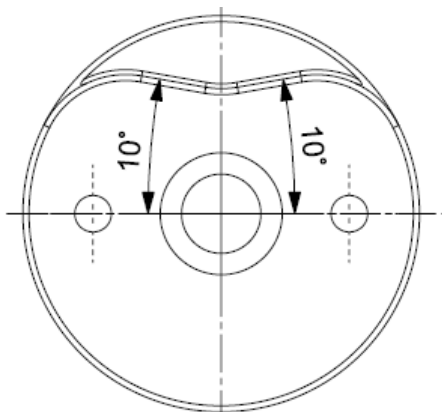
Figur 13. Startluftkammens geometri

I början av arbetet räknade jag ett teoretiskt värde för öppnings- samt stängningstid av startluftventilerna. Genom att räkna ut hur stor rörelse som krävs av sliden för att öppna porten till startluft ventilerna samt hur stor rörelse som krävs från nedre vändläge för att stänga matnings porten och öppna avluftsportsporten, kunde jag räkna ut hur mycket kammern måste rotera från öppning av kontrolluftsporten tills avluftsportsporten öppnar, och kunde då bestämma hur många vev vinkel grader startluftventilen ligger öppen. I en 6L32 motor öppnar startluftventilen teoretisk 14 grader före kolvens övre dödläge, och stänger 48 grader före kolvens nedre dödläge. Detta ger oss en total öppen tid på 146 grader CA. Eftersom avgasventilen öppnar 40 grader före BDC, kommer en stor del luft gå till spillo. Genom att stänga startluftventilen tidigare minskar vi på trycket i cylindern när avgasventilen öppnar och på detta vis minskar onödig luftförbrukning. Efter detta undersöktes hur stora förändringar som kan tillåtas på kamprofilen utan att riskera pålitligheten av funktionen. Detta undersöktes m.h.a. simuleringar i 3D-designprogrammet NX. Här fastställdes att vinkeln på kamprofilen inte får överstiga fyra grader för en sexcylindrig motor, åtta grader för en åttacylindrig motor och tio grader för en nio- eller tiocylindrig motor.

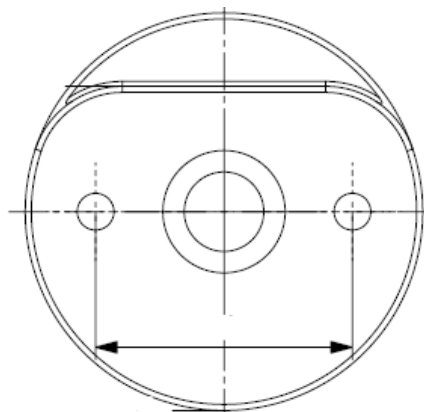
Orsaken varför geometrin i båda halvorna av kamprofilen inte är lika beror på hysteresen i slidventilen som ligger i distributören.



Figur 14. Hysteres i slidventilen

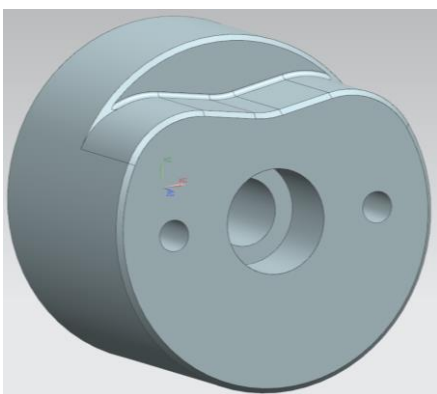


Figur 15. Startluftkam med ny profil

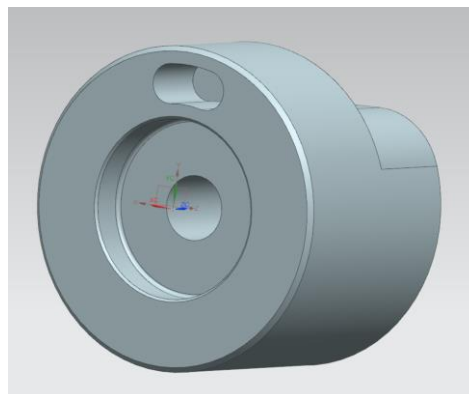


Figur 16. Startluftkam med standard profil

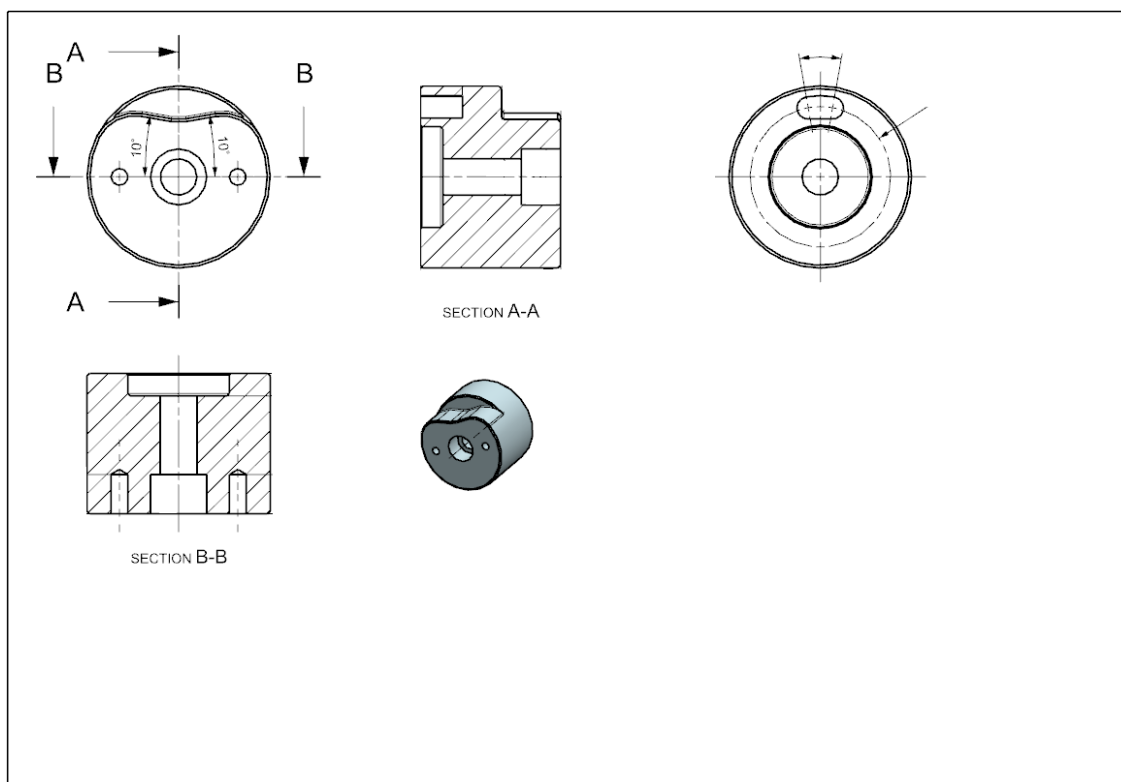
När jag hade bestämt lutningen på profilen bestämde jag mig för att rita upp 3D-modeller av sex olika kamprofiler med 2, 4, 6, 8 samt 10 graders lutning på profilen. Dessutom ritade jag en standardprofil, för att möjliggöra tester var vi skulle ha möjligheten att jämföra inverkan på systemet ifall endast vinkeln mellan kammen och dess bas.



Figur 17. Prototyp av kambit



Figur 18. Prototyp av kambit



Figur 19. Ritning över prototyp kam bit med 10° lutning

Genom beräkningarna samt visuell undersökning av kamprofilerna i NX, åstadkoms följande matris för startluftkammarnas kompatibilitet på specifik motortyp.

Tabell 1. Kompatibilitets tabell

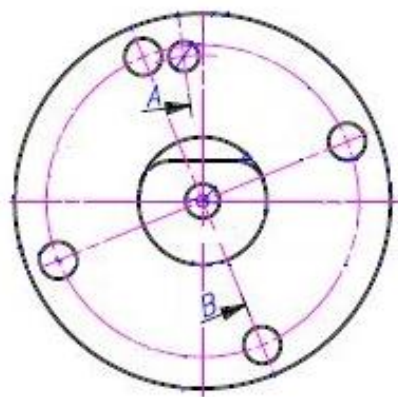
Motor typ	W20V32					
	W18V32/ W9L32					
	W16V32/ W8L32					
	W12V32/ W6L32					
		2°	4°	6°	8°	10°
		Profil vinkel				

- Grön – Möjligt användningsområde
- Orange – Optimalt användningsområde
- Röd – Undvikbart område, risk för start problem

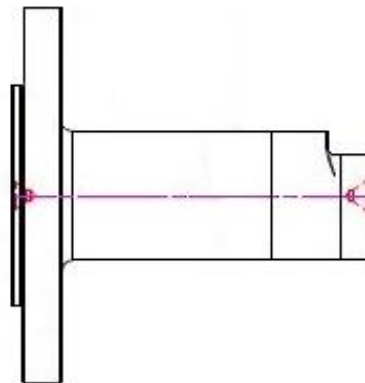
Med den nya 4° profilen för en 6 cylindrig motor, kommer vi att minska på startluftventilens öppen-tid med ca 10 %.

3.2 Bas för startluftskam

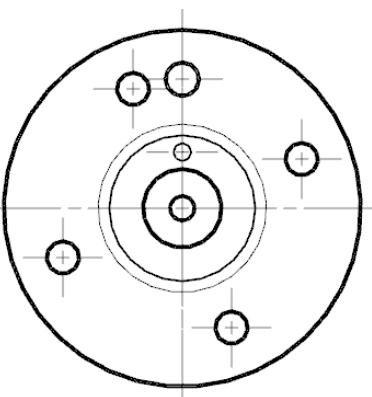
För att minimera arbetstiden som krävs för att byta startluftskam bestämde vi oss för att göra en design på en isärtagbar helhet var själva kamprofilen skulle vara möjlig att byta ut med minsta möjliga arbete. För att göra detta så lätt om möjligt bestämde vi oss för att beställa standard startluftkammor och kapa av kamprofilen, samt borra gängor i basen för att fästa prototyp kammarna med bultförband. Med denna konstruktion skulle arbetstiden för ombyte av kammarna minska med ca 60 %. Eftersom inte hela kammen måste demonteras utan endast kamprofilen byts ut.



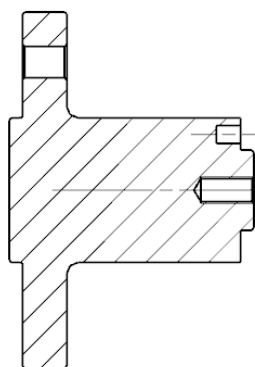
Figur 20. Original startluftkam



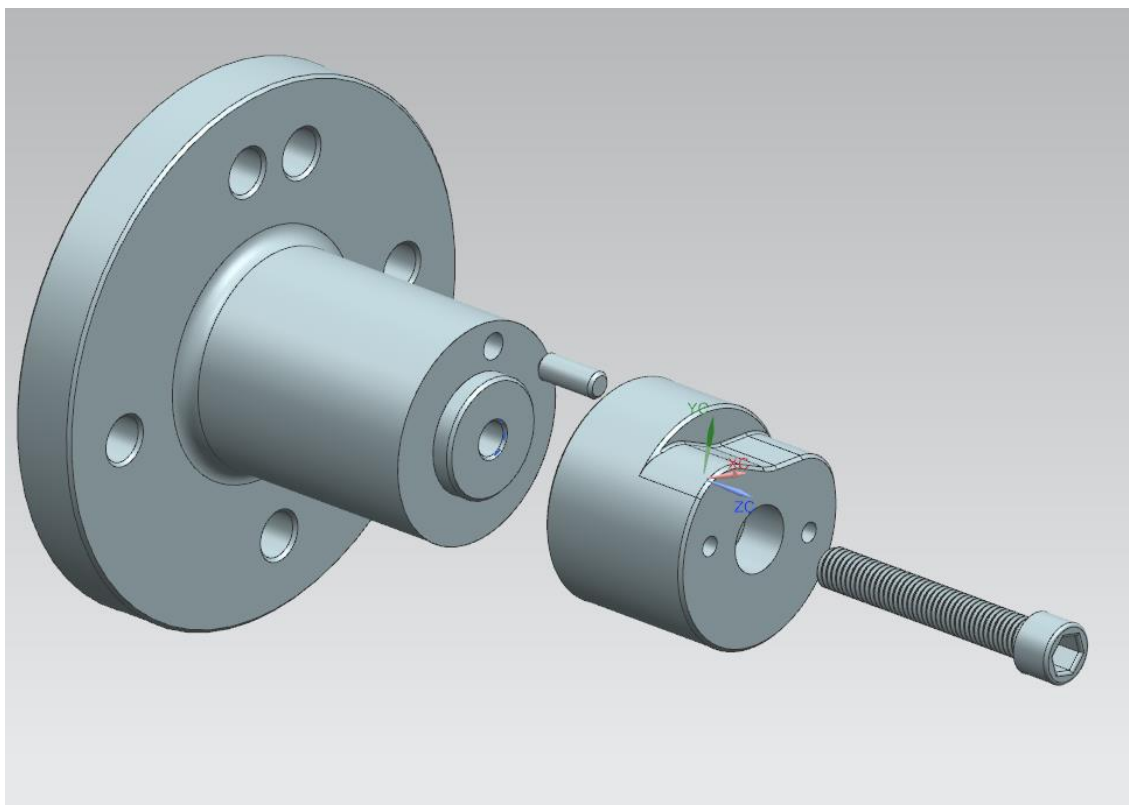
Figur 21. Original startluftkam



Figur 22. Prototypbas för W6L32



Figur 23. Prototypbas för W6L32



Figur 24. Sprängbild över kambas samt kambit.

3.3 Mätning

I detta kapitel kommer vi att gå igenom hur de olika mätningarna på motorerna utfördes.

3.3.1 Mätningar på 6L32

För att undersöka inverkan av de nya kamprofilerna på 6L32 motorn, utförde vi start tester enligt tidigare utförda start tester för att kunna jämföra det insamlade datat. För dessa tester använde vi oss av en 3m^3 startlufttank, och adderade volymen för startluftlinjen till motorn som blev $\text{ca } 0,75\text{m}^3$. Trycket i startluftsystemet låg på $\text{ca } 30\text{ bar}$. Detta ger oss en luftvolym på $\text{ca } 12,5\text{ nm}^3$. Testerna skulle utföras genom att stänga ventilerna för startluften så att tryckluften inte kunde förbrukas av någon annan motor samt stänga ventilerna för kompressorerna så att vi inte fyllde på tryckkärlen under testerna. Själva testet utfördes genom att starta motorn så många gånger tills starten misslyckades, efter ett misslyckat start försök utfördes ytterligare två starter för att försäkra om oss att trycket i systemet är otillräckligt. För starttesterna skulle vi logga följande data:

- Motorns hastighet [rpm]
- Fuel rack [mm]
- Startlufttryck [bar]
- Startsolenoidläge [on/off]

Vi bestämde oss för att ytterligare undersöka fördröjningar i startluftsystemet. Detta betyder att vi ville veta hur stora fördröjningarna av startluftventilernas öppning och stängning blir, under starten när varvtalet ökar. För detta använde vi oss av ett DAQ (Data Aquisition) system, Dewesoft. Med Dewesoft loggade vi följande data:

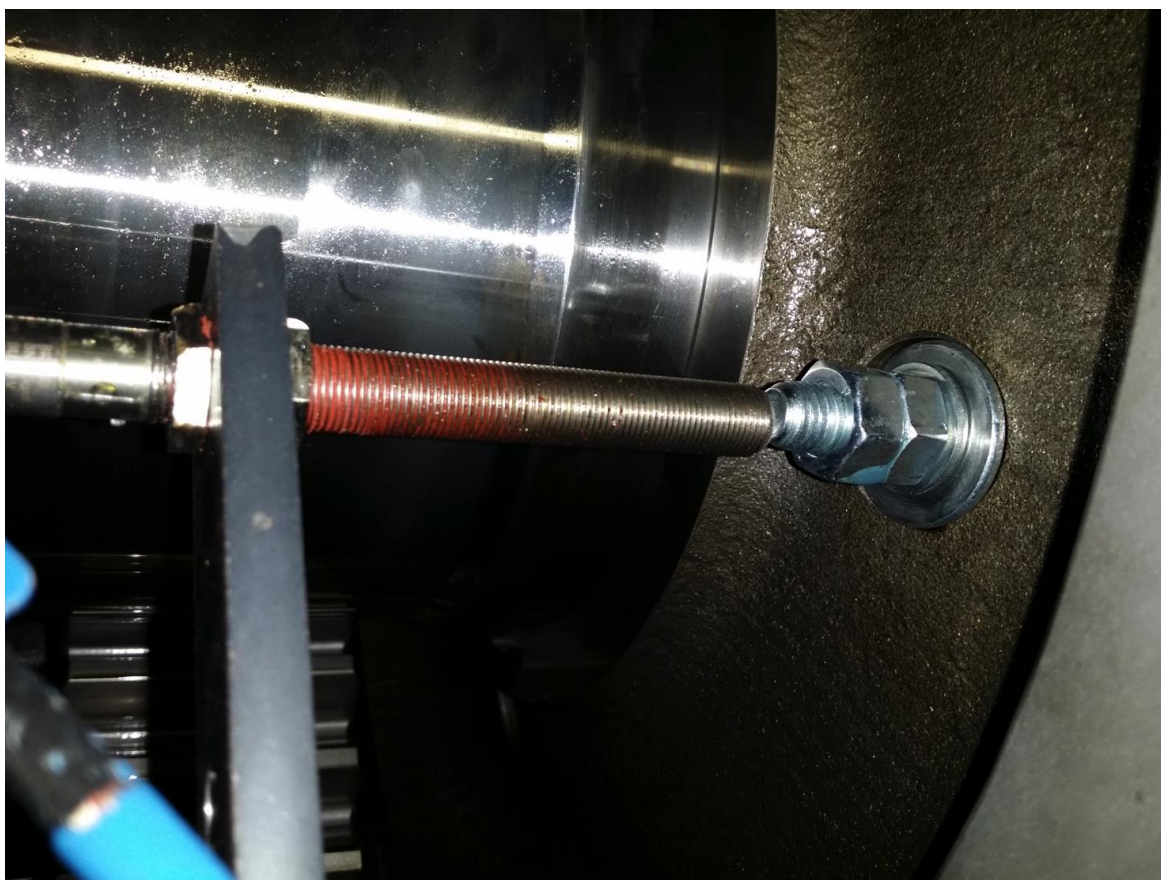
- Kontroll lufttryck vid distributören för cylinder 1 samt cylinder 6
- Kontroll lufttryck vid startluftventil i cylindern, för cylinder 1 samt cylinder 6
- Kamaxel läge samt hastighet

För tryck mätningarna använde vi oss av fyra stycken piezoelektriska absoluttrycksgivare, med tryck skala från 0 till 50 bar.

Kamaxel läget samt hastigheten mätte vi genom att montera två induktiva givare. En induktiv givare fungerade som nollpuls, och den andra räknade kuggar på kugghjulet som är fäst vid ändan av kamaxeln. Ifall vi inte skulle ha en nollpuls skulle vi bara räkna uppåt men genom att använda en nollpuls kommer räknaren att nollställas efter varje roterat varv och börja räkna på nytt från 0° till 360°.

Genom att mata in datat om nollpulsens offset till cylinder 1 övre dödläge i kamaxelgrader, kommer räknaren att börja räkna kamaxelns vinkel när cylinder 1 ligger i TDC och inte på ett på en önskad tidpunkt.

Detta gav oss möjligheten att få en inblick om, vid vilket grad tal på kamaxeln som kontrolluften börjar påverka startluftventilerna i cylinderlocken.



Figur 25. Montering av induktiv givare (nollpuls).

Varför vi bestämde oss för att undersöka fördröjningarna mellan cylinder 1 samt cylinder 6 beror på att cylinder 6 befinner sig närmast distributören, och har därför den minsta volymen kontrolluft mellan distributören samt startluftventilen i cylinderlocket. Däremot ligger cylinder 1 längst borta från distributören och har den största volymen kontrolluft. Den stora volymen bidrar till större fördröjningar eftersom luften är komprimerbar.

För att mäta inverkan av de nya kamprofilerna, samt kunna jämföra data mot tidigare test resultat av startluftförbrukning, bestämdes det att vi skulle utföra mätningarna likadant som tidigare.

Detta betyder att vi använder oss av en fast mängd startluft, i detta fall ca 3,6 m³ tryckluft, med ett tryck på ungefär 30 bar. Genom att stänga av kompressorerna och vrida av ventilerna, har vi isolerat systemet. Testerna utfördes på två olika motor typer, 6L32 samt 9L32. På 6L32 motorn utfördes noggrannare mätningar med ett DAQ-system samt tillsatta tryck och induktiva givare, för att få en tydligare uppfattning om fördröjningar i systemet.

Med 9L32 motorn undersöktes endast inverkan på startluftsförbrukningen samt den högsta möjliga rotationshastigheten som kunde uppnås när motorn roterades m.h.a. startluft. Testerna utfördes genom att starta motorn så många gånger som möjligt med en fast startluftsvolym samt tryck. Efter att motorn inte startade längre utfördes ytterligare två start försök för att försäkra oss om att trycket i startsystemet verkligen är otillräckligt. Under testerna loggades:

- motorns hastighet
- startluftventilens läge
- fuel rack
- lufttryck i startluftsystemet.

4. Resultat

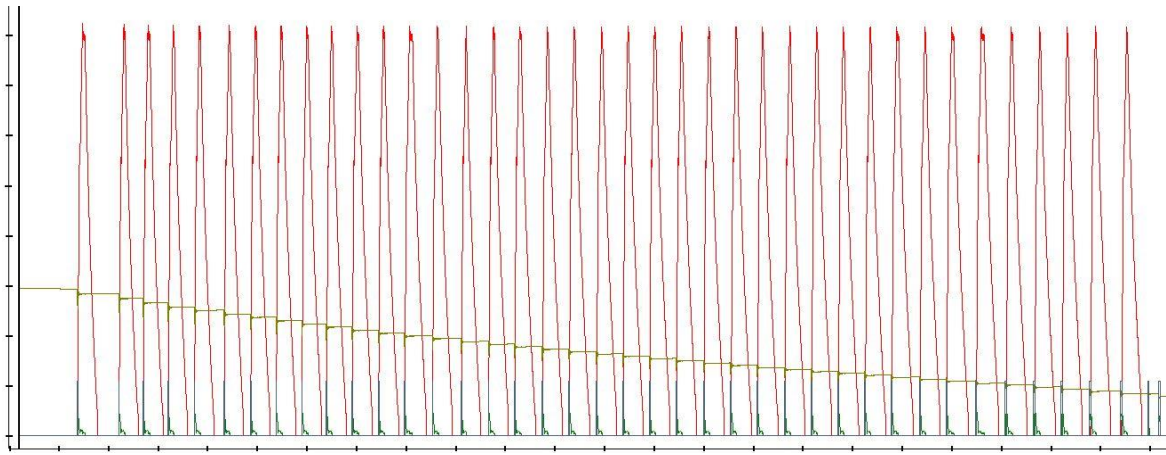
I detta kapitel kommer jag att gå igenom resultatet från de mätningar som utförts på 6L32 samt 9L32 motorerna.

4.1 Testresultat från motor 6L32

Under analysen av testresultatet som vi fick från 6L32 motorn, märkte vi att luftförbrukningen var allt för hög. Resultat som vi fick gav oss ca fyra gånger högre luftförbrukning per start jämfört med tidigare resultat. Denna motor skall klara av ca 30 starter på 3m^3 tryckluft med ett tryck på ungefär 30 bar. Våra mätningar gav oss endast 10 starter på samma mängd tryckluft. Internt luftläckage misstänkes. Detta resultat blev oanvändbart, och tid för att köra om testerna fanns inte att tillgå i detta skede.

4.2 Testresultat från motor 9L32

Med 9L32 motorn använde vi oss av en startluftsvolym på ca $3,6\text{ m}^3$. Detta består av en 3 m^3 startlufttank och rörledningarna till motorn. Trycket i systemet var ca 30 bar. Testerna utfördes genom att först köra en referens körning med standardkomponenter för att få något att jämföra mot. Efter referensen med standard komponenterna, testade vi sex och tio graders kamprofilerna. 10 graders profilen var ägnad för denna motor typen men vi ville också veta om datat följer linjärt sambandet mellan lutningen på kamprofilen.

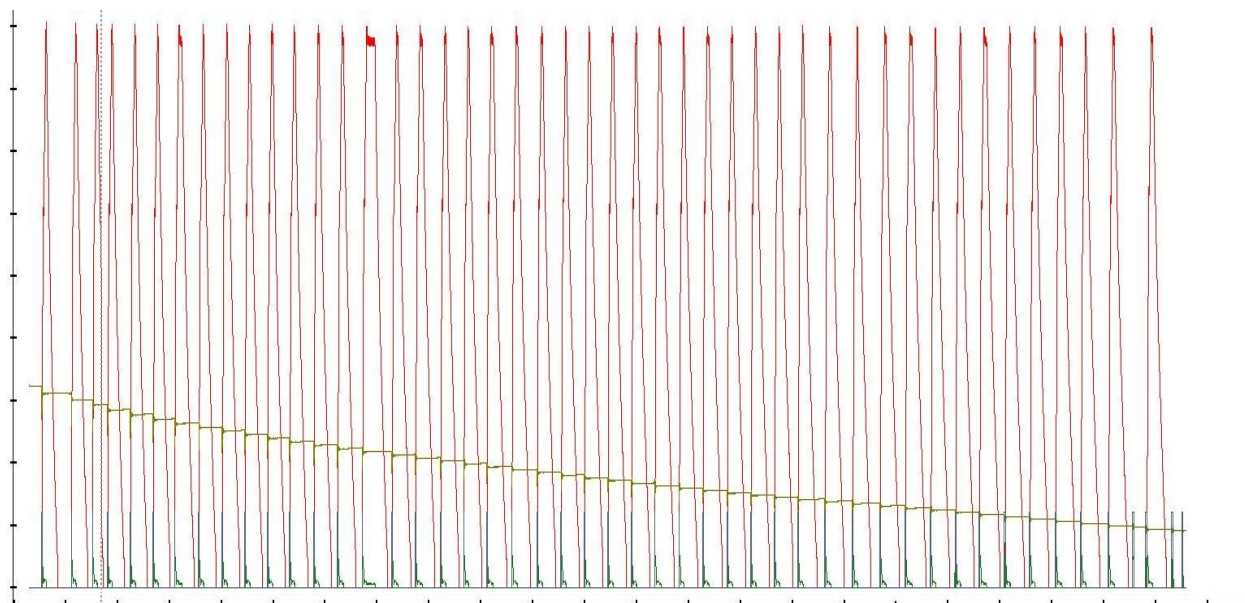


Figur 26. Graf över starttesterna med standardkomponenter (39 lyckade starter)

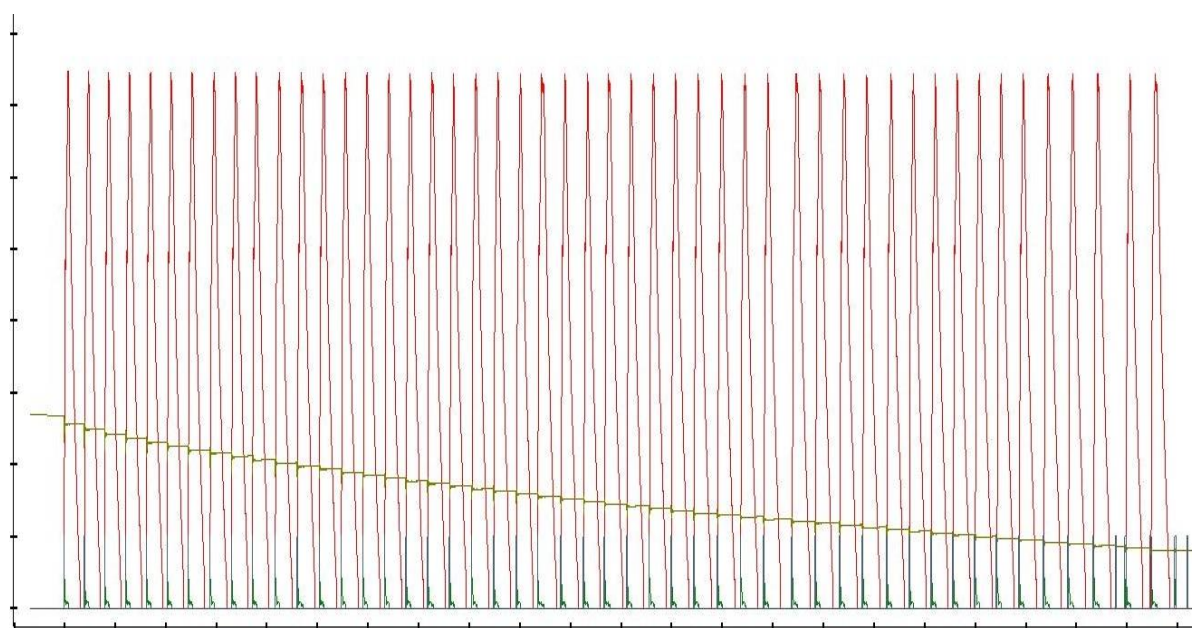


Figur 27. Inzoomad bild av en start med standardkomponenter

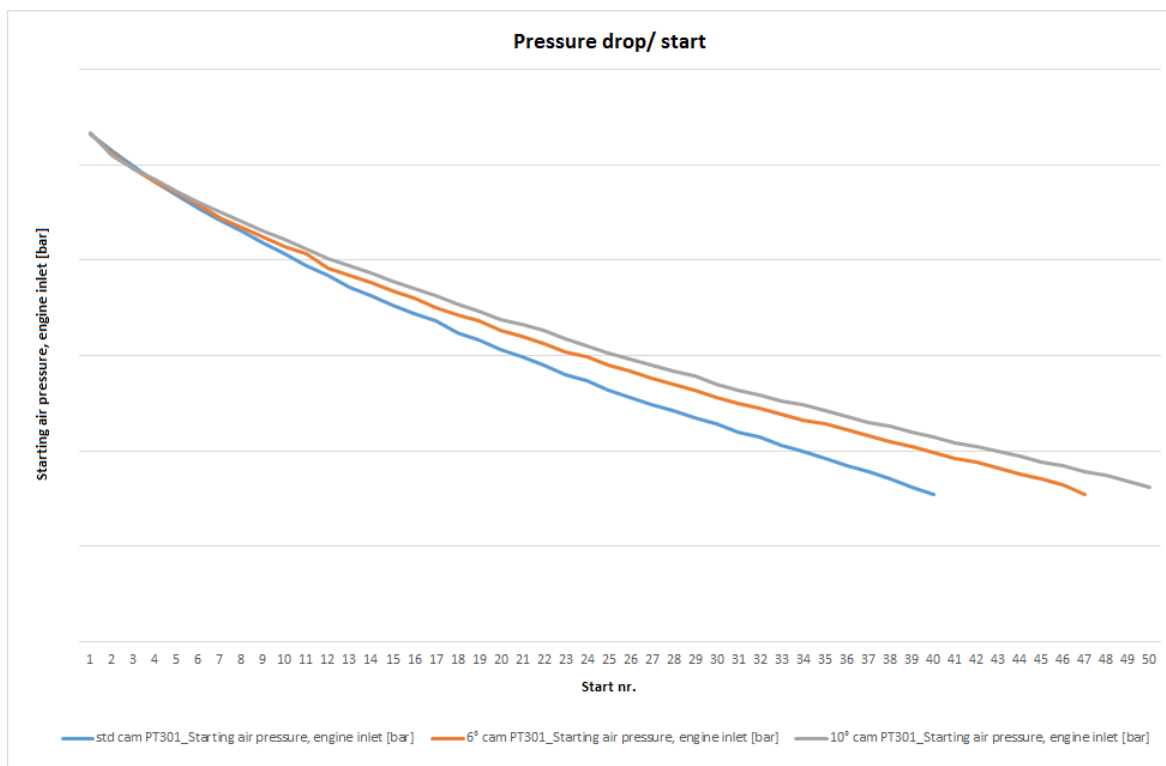
- Röd – motorvarvtal
- Ljus grön – Startluft tryck vid motorn
- Blå – Huvud startsolonoid läge
- Grön – FR-läge



Figur 28. Graf över starttesterna med 6° kamprofil (46 lyckade starter)



Figur 29. Graf över starttesterna med 10° kamprofil (49 lyckade starter)



Figur 30. Jämförelse graf över tryckförlust/start med olika kamprofiler

I graferna som visades på föregående sidor samt här ovan kan man se start testerna för 9L motorn. Den röda linjen indikerar motorvarvtal och varje topp motsvarar en start. Den sista grafen är en jämförelse graf var man kan se hur mycket trycket i startluftsystemet sjunkit per start.

Med våra mätvärden har jag räknat ut ett medelvärde på tryckförlust/start, samt luftförbrukning i nm^3/start (normal kubikmeter/ start), samt jämfört den maximala rotationshastigheten som kunde åstadkommas genom att rotera motorn med startluft.

Tabell 2. Jämförelse av startantal.

Profilvinkel [°]	Antal starter	Procentuell förbättring [%]
0° (STD)	39	0,00 %
6°	46	17,95 %
10°	49	25,64 %

Tabell 3. Jämförelse av startluftförbrukning

Profilvinkel [°]	Medeltal av tryckförlust/start [bar]	Medeltal av startluftförbrukning [Nm ³]	Procentuell förbättring [%]
0° (STD)	-	-	0 %
6°	-	-	16,53%
10°	-	-	31,20 %

Tabell 4. Jämförelse av rotationshastighet.

Profilvinkel [°]	Max rpm	Procentuell förbättring [%]
0° (STD)	-	0 %
6°	-	- 7 %
10°	-	- 2 %

Fig. 22. Resultat tabell.

Som vi kan se i resultat tabellerna ovan lyckades vi att förbättra antalet starter med ca 27 %, samt minska på startluftkonsumtionen med ca 31 %, med 10° kammen. Detta är ett väldigt bra resultat vid tanke på att inga större omkonstrueringar behövs. Eftersom materialet anses känsligt har jag valt att lämna bort specifika resultat och talar endast om procentuella förbättringar. På den maximala rotationshastigheten kan vi se en liten försämring, men detta är försumbart med tanke på förbättrad startluftkonsumtion. En 7 % försämring med 6° kamprofil kan förklaras med ett lägre tryck i startluftsystemet, jämfört mot de andra försöken.

Med tanke på testresultaten, kan vi uppdatera kompatibilitetstabellen (tabell 1.) eftersom 10° kamprofilen fungerade felfritt på en W9L32.

Tabell 5. Uppdaterad kompatibilitetstabell

Motortyp	W20V32					
	W18V32/ W9L32					
	W16V32/ W8L32					
	W12V32/ W6L32					
		2°	4°	6°	8°	10°
		Profilvinkel				

- Grön – Möjligt användningsområde
- Orange – Optimalt användningsområde
- Röd – Undvikbart område, risk för start problem

5. Diskussion

I detta kapitel kommer jag jämföra resultatet av examensarbetet mot syftet, reflektera tillbaka över arbetets gång om saker jag skulle gjort annorlunda och påpeka saker som eventuellt kunde vidare undersökas.

5.1 Startluftkammens utveckling

Syftet med detta examensarbete var att designa en startluftskam med ny profil, med målet att minska på startluftskonsumtionen samt öka på motorns rotationshastighet under start. Inverkan av dessa nya kamprofiler skulle även undersökas genom att utföra start tester med olika motortyper. Under examensarbetets gång fick jag klargjort fem olika designar för startluftskammar ägnade åt W32 motorer, med olika cylinderkonfigurationer.

Jag lyckades framställa de komponenter som förväntades ur detta examensarbete, med ett önskat resultat.

Jag är mycket nöjd med resultatet vi åstadkom under detta examensarbete, med en märkbar förbättring av luftkonsumtionen. Målet var även att förbättra rotationshastigheten, men detta lyckades vi inte med, men rotationshastigheten förblev så gott som oförändrad.

5.2 Tillbakablick över arbetet

Ifall jag skulle göra om detta arbete skulle jag försöka få flera testtider på motorerna, för att få mera resultat om hur profilerna inverkar motorer med olika cylinderkonfigurationer. Nu har vi ett lyckat resultat med en 9L32 motor och ett misslyckat från en 6L32 motor. För att säkerställa sig om samt få en djupare inblick om profilens inverkan på en 8L32, 16V32 samt 20V32 motor krävs mer tester.

Utöver detta skulle jag undersöka inverkan på luftförbrukningen samt rotationshastigheten, ifall kammen skulle roteras i förhållande till kamaxeln. Med detta skulle vi kunna se inverkan av att öppna samt stänga startluftventilen både tidigare samt senare. Alltså ifall kammen skulle roteras t.ex. 5° medsols i förhållande till kamaxeln, skulle startluftventilerna öppna samt stänga 10° (vevaxelgrader) senare.

5.3 Vidareutveckling

För vidareutveckling av kamprofilerna föreslår jag en undersökning om krafterna som sliderna utsätts för. Eftersom profilen har blivit brantare kommer kontaktpunkten mellan slid och kamprofil att förflyttas något, vilket leder till större tangentiella krafter på sliden. En ökad sidokraft på sliden orsakar större tryck mellan sliden och holken, vilket kan leda till snabbare nötning av antingen sliden eller holken. Ifall någondera av komponenterna utsätts för slitage kommer inte startluftssystemet mera fungera som det skall, utan vi får läckage. Läckage mellan slid och holk orsakar en större luftkonsumtion samt en ändring av startluftventilens öppnings- samt stängningstidpunkt.

Även en undersökning av komplett ombygge av startluftsystemet, skulle kunna föreslås. Ifall startluftventilerna skulle styras med ett hydrauliskt system skulle vi undvika fördröjningar och få en mera exakt öppnings- samt stängningstidpunkt av startluftventilerna, oberoende motorvarvtal. Detta kunde eventuellt styras elektroniskt som en funktion av kamaxelvinkeln med hjälp av en absolut encoder.

Jag vill ännu säga ett stort tack till alla som hjälpt mig under arbetets gång, speciellt tack till min handledare från företaget, Christian Stegar som främjat mitt eget tänkande samt hjälpt till vid behov. Jag vill även tacka min handledare från skolan Andreas Gammelgård för stödet han gett under skrivandet av arbetet. Även ett stort tack till Jens Lassila samt Robert Lundström från Wärtsilä, för deras stöd.

Källförteckning

Boyles law calculator u.å. [Online]

<http://www.chm.davidson.edu/vce/gaslaws/boyleslawcalc.html> [Hämtat 17.02.2015]

Company overview 2014 u.å. [Online]

<http://www.wartsila.com/en/about/company-management/overview> [Hämtat 16.01.2015]

Företagets ekonomi 2013 u.å. [Online]

<https://www.nordnet.se/mux/web/marknaden/aktiehemsidan/nyckeltal.html?identifier=24394&marketplace=24> [Hämtat 16.01.2015]

Företagets historia u.å. [Online]

<http://www.wartsila.com/en/about/company-management/history> [Hämtat 16.01.2015]

Grundprinciper för induktiva sensorer u.å. [Online]

<https://sensortech.wordpress.com/2014/03/05/basic-operating-principle-of-an-inductive-proximity-sensor/> [Hämtat 16.02.2015]

Heinz P. Bloch, (1996), A practical guide to compressor technology, USA: McGraw-Hill

Inductive sensors u.å. [Online]

www.fargocontrols.com/sensors/inductive_op.html [Hämtat 24.2.2015]

Inductive proximity sensors u.å. [Online]

<http://www.schneider-electric.com.hk/documents/energy-efficiency-cup/Inductive-proximity-sensors.pdf> [Hämtat 16.02.2015]

Kistler sensors u.å. [Online]

<http://www.kistler.com/de/en/products/components/pressure-sensors/> [Hämtat 17.02.2015]

Tryckluft som energiform u.å. [Online]

<http://www.silvent.com/sv/kompetens/tryckluft-som-energiform/> [Hämtat 17.02.2015]

Tryckluftsguiden u.å. [Online]

<http://www.biab-tryckluft.se/valja-tryckluftskompressor/tryckluftsguiden> [Hämtat 12.02.2015]

W32 Project guide

Wärtsilä, W32 Project guide, internal document [Hämtat 22.03.2015]